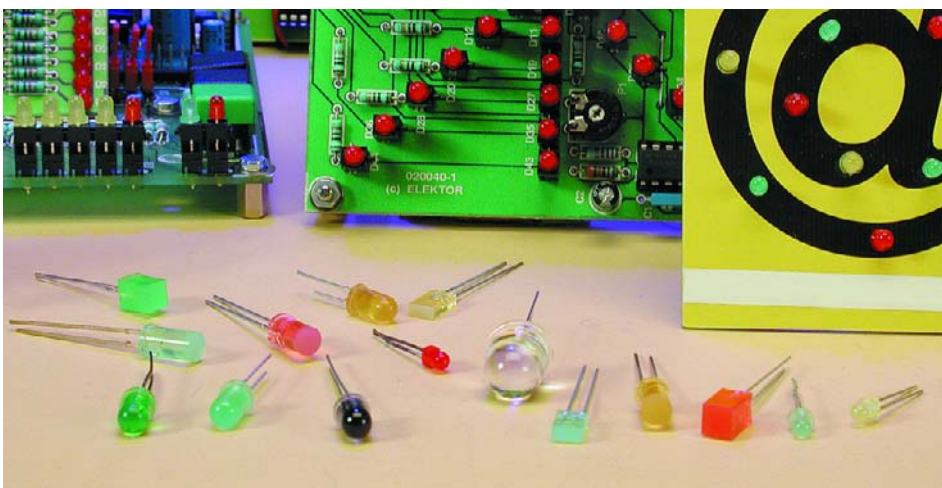


LED-arrays

Voor verlichtingsdoeleinden

Klaus-Jürgen Thiesler

Een handvol felle LED's biedt als lichtbron tal van nieuwe mogelijkheden, niet alleen in huis maar bijvoorbeeld ook bij verkeerssignalering. Ze zorgen voor energiebesparing en door hun hoge levensduur worden bovendien onderhoudskosten drastisch gereduceerd.



LED's zijn tegenwoordig zo lichtsterk dat ze ook prima voor verlichtingsdoeleinden kunnen worden ingezet, ook al zijn de prijzen nog aan de hoge kant. De voordelen ten opzichte van andere lichtbronnen zijn echter aanzienlijk. Om te beginnen is de levensduur van 100.000 uur of meer uniek. Verder is de voor de bundeling van het licht benodigde optiek reeds in de behuizing geïntegreerd. Een ander belangrijk voordeel vormt de snelle schakeltijd van LED's. Als remlicht in een auto reageren ze duidelijk sneller dan gloeilampen. Terwijl LED's hooguit 100 ns nodig hebben, vereisen gloeilampen een voorwarmtijd van tenminste 100...300 ms. Gedurende die tijd bedraagt de piekstroom soms het 50-voudige van de nominale waarde. Natuurlijk zijn er ook nadelen: gloeilampen zijn echte infrarood-stralers die ook bij hoge omgevingstemperaturen nog functioneren. LED's daarentegen zijn passieve halfgelei-

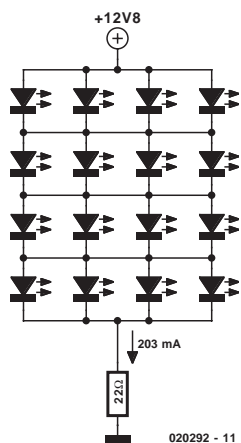
ders met een daarbij behorend temperatuurspectrum. Door hun inwendige constructie wordt de maximale chiptemperatuur van 125°C reeds bij omgevingstemperaturen van rond 85°C bereikt. Dat lijkt veel, maar bij een derde remlicht in een auto wordt deze waarde 's zomers soms toch overschreden. Bij een chiptemperatuur boven 125°C valt de LED uit zodra hij oplicht. Dit gebeurt meestal bij de maximale doorlaatstroom, waardoor de temperatuur nog verder oploopt. Aangezien de belastbaarheid van een halfgeleider omgekeerd evenredig is met de omgevingstemperatuur, krijgen we bij een ongecompenseerde schakeling al snel te maken met een worst-case-situatie. De overbelaste LED licht niet meer op en vormt een open verbinding.

Bij de productie van LED's zijn de toleranties in de elektrische specificaties zo groot dat ze bewust geselecteerd worden tot groepen met geringere tolerantie. Voor de meeste toepassingen van één enkele LED doen die afwijkingen er niet zo veel toe, ze vallen pas op wanneer er arrays worden samengesteld van LED's die onderling met elkaar in lichtsterkte concurreren. Ook in elektrisch opzicht concurreren ze dan met elkaar en dat wordt eveneens onplezierig merkbaar. Toleranties in de doorlaatspanning van 150 mV zijn namelijk heel gebruikelijk. Een nauwkeurigere selectie van LED's is logistiek en economisch niet haalbaar. Wanneer optische toleranties doorslaggevend zijn – bij bijvoorbeeld meercijferige of LED-matrixdisplays – dienen de LED's op het oog of met optische hulpmiddelen te worden geselecteerd. Voor pure verlichtingsstoepassingen is al deze moeite niet nodig.

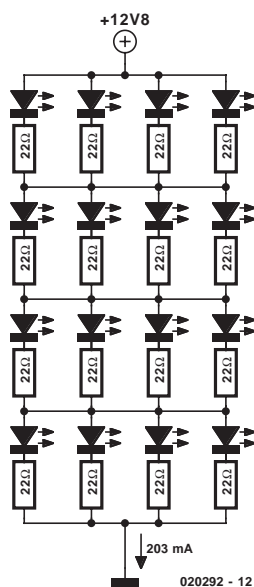
Stroomtoleranties

Om een handvol LED's tot één lichtbron te combineren, is de keuze tussen drie configuraties mogelijk.

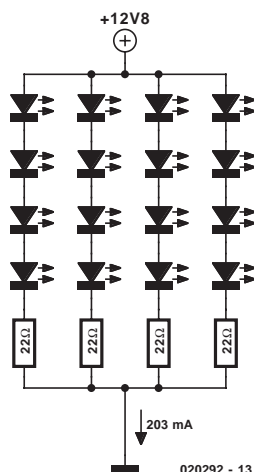
In **figuur 1** delen alle LED's een gezamenlijke voorschakelweerstand. Deze methode voldoet redelijk, zeker bij gebruik van LED's die geselecteerd zijn op een tolerantie van $\pm 0,150$ in doorlaatspanning. Bij toenemende stroom stijgt namelijk ook de door-



Figuur 1. LED-matrix met slechts één voorschakelweerstand.



Figuur 2. Elke LED zijn eigen voorschakelweerstand.



Figuur 3. Vier onafhankelijke rijen met elk een voorschakelweerstand.

laatspanning. Bij de matrix van figuur 1 zullen de LED's met een hogere doorlaatspanning dus iets zwakker oplichten dan andere. Wordt de schakeling berekend op een nominale doorlaatstroom van 50 mA per LED, dan zullen door de tolerantie de stromen in de praktijk variëren van 40 mA voor de LED met de grootste spanningsval tot 62 mA voor de LED met de laagste doorlaatspanning. De voor- en nadelen van deze schakelvariant zijn:

- Bij het uitvallen van een LED blijven de andere gewoon oplichten, weliswaar met een theoretisch ietwat verkorte levensduur.
- De schakeling is zeer eenvoudig en vereist slechts één serieweerstand. Door de serie/parallel-schakeling van de LED's is een simpel printontwerp mogelijk.
- Een 'LED-defect'-indicatie is in de praktijk niet mogelijk, omdat dan eerst de complete schakeling moet uitvallen. De voorschakelweerstand is hiervoor niet als sensor bruikbaar.

In **figuur 2** is een matrix afgebeeld waarbij elke LED zijn eigen serieweerstand heeft. Het aantal benodigde componenten verdubbelt hierdoor bijna. Wel is elke LED nu minder afhankelijk van de toleranties van zijn collega's. De stroom per LED varieert nu lang niet zo sterk. Bij een nominale waarde van 50 mA liggen de uitersten hier op 46 mA en 53 mA. Met de individuele serieweerstanden valt de stroom per LED voldoende nauwkeurig in te stellen. Voor verlichting in huis is deze schakeling het meest ideaal omdat het uitvallen van een individuele LED goed kan worden gecontroleerd. Voor- en nadelen van de schakeling volgens figuur 2:

- Bij het uitvallen van een LED blijven de andere gewoon oplichten, met iets verminderde kans op uitval. De lichtsterkte neemt bijna onmerkbaar af.
- Defect-indicatie is alleen mogelijk via de stroom/spanningsdetectie van de vermogensschakelaar; voor elke afzonderlijke LED is dit uiteraard ondoenlijk.

In **figuur 3** is een serieschakeling afgebeeld waarbij elke rij LED's zijn eigen voorschakelweerstand heeft.

Hierbij vervallen de knooppunten die elke horizontale groep van vier LED's een gedefinieerde spanning opdwingen. De vier rijen LED's werken onafhankelijk van elkaar. Omdat de verschillen in doorlaatspanning bij gelijke stroom in verhouding kleiner uitvallen dan de verschillen in doorlaatstroom bij gelijkblijvende doorlaatspanning, zijn de meetresultaten ongeveer gelijk aan die van de schakeling van figuur 2. De opzet is echter een stuk eenvoudiger en goedkoper. De minimale stroom per LED bedroeg in een proefschakeling 47 mA, het maximum lag op 53 mA.

Een nadeel is er natuurlijk ook. Het ontbreken van de dwarsverbindingen in het schema heeft als minpunt dat bij het uitvallen van één LED meteen de hele rij dooft en de lichtsterkte flink afneemt. Er zit dan niets anders op dan de hele rij te vervangen en dat is niet altijd economisch. Bij toepassing in de auto weegt dit minder zwaar, omdat de signaleringsfunctie behouden blijft, zij het met iets minder lichtsterkte. De levensduur van de resterende LED's wordt niet beïnvloed. Een defect-signalering is mogelijk door de weerstanden als stroomsensor te gebruiken. **Samengevat:**

- Bij het uitvallen van een LED dooft de hele rij. De overige LED's blijven oplichten. De kans op uitval wordt niet beïnvloed.
- Toegepast als rem- of knipperlicht is een defect-signalering relatief eenvoudig mogelijk, aangezien de (weinige) voorschakelweerstand als stroomsensor kunnen dienen.

Conclusie

Bij alle schakelvarianten is het belangrijk te weten wat er bij het uitvallen van een LED gebeurt. Wanneer door een te hoge chiptemperatuur een LED stuk gaat, wordt de stroomkring onderbroken. Bij de matrixen van figuur 1 en 2 is dit tragisch, omdat het werkklimaat er voor de buur-LED's dan niet beter op wordt. De zich horizontaal op dezelfde lijn bevindende resterende exemplaren krijgen de stroom van de defecte LED er dan bij. Hoe minder LED's er serie/parallel zijn geschakeld, des te zwaarder de extra belasting per LED zal zijn. Eigenlijk dienen bij de varianten van figuur 1 en 2 de LED's ver onder hun maximale stroom te worden ingesteld, zodat de kans dat er eentje uitvalt heel klein wordt. Een andere mogelijkheid is om zo veel rijen toe te passen dat bij uitval de extra belasting voor de resterende LED's verwaarloosbaar is.

Opvoeren van de lichtsterkte

Uit de in **tabel 1** opgesomde specificaties van een blauwe LED type TLHB4401 valt indirect af te leiden dat deze bij een continu-stroom

van 20 mA weliswaar met 100% sterkte oplicht, maar dat de lichtsterkte toch te verhogen valt wanneer de stroom op een bepaalde manier wordt vergroot. Bij bijvoorbeeld IR-afstandsbedieningen wordt deze methode toegepast om een grotere reikwijdte te krijgen. De truc hierbij is om de LED in puls-mode te gebruiken. En het toeval wil gelukkig dat het menselijk oog door zijn traagheid voor korte lichtpulsen nog veel gevoeliger is dan een IR-ontvanger. Wanneer de LED wordt geschakeld met pulsen van maximaal 10 μ s bij een frequentie van 1 kHz en een stroom van 100 mA, dan blijkt dat bij de maximale bedrijfstemperatuur (60°C) de subjectieve lichtsterkte met een factor 10 toeneemt. De metalen vating leidt de warmte van de ingebouwde LED goed af en bundelt bovendien het zijdelingse strooilicht naar voren.

Bij de nominale doorlaatstroom van 20 mA mag de inschakelduur uiteraard 100% bedragen, maar bij een veel hogere stroom is slechts een aanzienlijk kortere inschakeltijd toegestaan. Tussen de pulsen moet de LED relatief lang de tijd krijgen om af te koelen. Hieronder worden een aantal DC/DC-converters genoemd die over een shutdown-ingang beschikken waarmee via een PWM-sigitaal een helderheidsregeling kan worden gecreëerd. Belangrijk is dat de maximale omgevingstemperatuur en dissipatie van de LED niet worden overschreden. In plaats van de opgegeven maximum temperatuur van 100°C moet voor SOA-bedrijf (Safe Operating Area) een waarde van +60°C worden aangehouden. Bij 100°C is de lichtsterkte van de LED al duidelijk afgenomen.

Toleranties

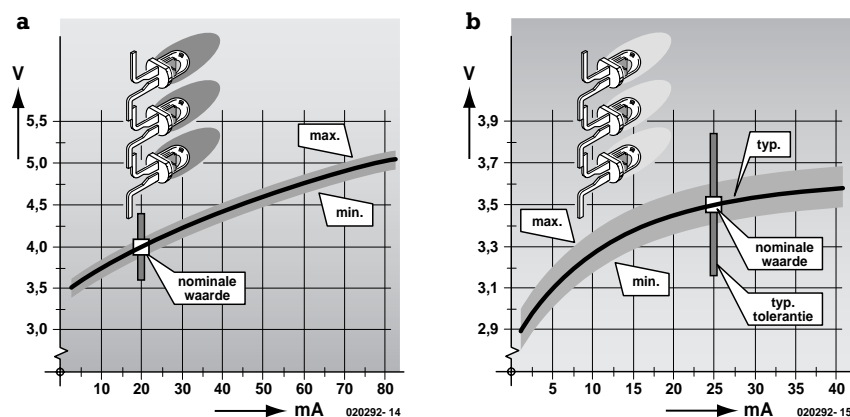
Voor witte LED's bedraagt de typische doorlaatspanning 3,5 V \pm 10%. Dit is de nominale waarde in de databladen. **Figuur 4a** laat zien hoe deze waarde varieert: Bij 25 mA biasstroom (doorlaatstroom) kan de doorlaatspanning 3,15...3,85 V bedragen. Bij blauwe LED's ligt de nominale doorlaatspanning op 4 V en het verloop daarvan is weergegeven in **figuur 4b**. Wordt de LED met een ongestabiliseerde spanning gevoed, dan treedt als gevolg van de niet-constante biasstroom een nog grotere spreiding in lichtsterkte op dan de grafieken doen vermoeden. Voor het realiseren van een helderheidsregeling van een of meer witte LED's staan moderne regel-IC's ter beschikking zoals de LM2791/2, MAX1698, MAX1848, MAX1912, LT1618, LT1932, LTC3200, LTC3400 of de LM2585T-ADJ die reeds in schakeling 46 van de halfgeleidergids 2000 als omvormer voor een 10-voudig array van witte LED's werd

Tabel 1.				
Blauwe LED TLHB4401	Maximale waarden			
Sperspanning		UR	5	V
Biasstroom DC	bij $U_F = 4,0$ V	IF	20	mA
Biasstroom puls-mode 10%, $t_p < 10 \mu$ s	bij $U_F = 5,2$ V, $T_A < 60$ °C	IFSM	100	mA
Dissipatie		PV	100	mW
Bedrijfstemperatuur		T_A	-40...+100	°C
Thermische weerstand		R_{thJA}	400	K/W
Blauwe LED TLHB4401	Specificaties			
Lichtsterkte		IV	32	mcd
Afstraalhoek	bij $I_V = 100$ %	φ	± 10	graden
	bij $I_V = 50$ %	φ	± 30	graden
Golfengte	bij $I_V = \text{max.}$	λ	430	nm

toegepast. Zeer interessant is de LT1618 van Linear Technology, die zowel een stroom- als spanningstegenkoppeling bezit en voorzien is van een afschakeling en een PWM-ingang voor de helderheidssturing. Daarnaast is de LT1618 in een compacte MSOP-10-behuizing ondergebracht en schakelt hij met maximaal 1,5 MHz, hetgeen de omvang van de componenten ten opzichte van bijvoorbeeld de 'oude' LM2585T-ADJ sterk reduceert. Veel van deze regel-IC's kunnen in stroomsensor-mode worden gebruikt, hetgeen de gelijkmatigheid van de lichtsterkte ten goede komt. De regeling van de biasstroom werkt namelijk zeer nauwkeurig en houdt rekening met de specifieke doorlaatspanning van elke LED, onverschillig of dat nu 3,15 V of 3,85 V is. Wat het regel-IC niet 'weet', is de belastbaarheid van de LED(s) en die zal men dus zelf in de gaten

moeten houden. Stromen boven 25 mA zijn uitsluitend in puls-mode toegestaan, waarbij de maximale waarden uiteenlopen van 50 mA tot 100 mA bij een schakelfrequentie van 1 kHz, een puls/pauzeverhouding van 1:10 en een omgevingstemperatuur van 25°C. Enkele distributeuren van lichtsterke LED's selecteren speciaal voor verkeerssignalering hun LED's per verpakkingseenheid op een tolerantie van maximaal $\pm 1,6$ mcd. Voor deze toepassing worden overigens bewust niet de allerfelste LED's ingezet om verblinding te vermijden. Meestal wordt gebruik gemaakt van Indium-Gallium-Nitride-LED's met een lichtsterkte van 180 mcd. Voor huiskamerverlichting en zaklantaarns genieten juist superfelle typen de voorkeur, zoals bijvoorbeeld de L5-W54S-BS met een lichtsterkte van maar liefst 9000 mcd.

(020292)



Figuur 4. Doorlaatcurve van een witte (4a) en een blauwe (4b) LED.